高精料饲粮添加槲皮素对山羊瘤胃发酵、瘤胃菌群数量及血清指标的影响

郭长征　冯泮飞　薛春旭　叶慧敏　刘军花　毛胜勇*

（南京农业大学动物科技学院，南京　210095）

摘　要：本试验旨在研究高精料饲粮添加槲皮素对山羊瘤胃发酵、菌群数量及血清指标的影响。采用随机区组设计，将 12 头装有永久性瘤胃瘘管的波杂山羊(波尔山羊×长江三角洲白山羊)，随机分为对照组（不添加槲皮素）和试验组（槲皮素添加量为 100 mg/kg BW），每组 6 头。试验期 42 d，分别在第 35、38 和 41 天晨饲后 0（08:00）、2、4 和 8 h 采集瘤胃液；在第 36、39 和 42 天晨饲后 0、6 h 采集颈静脉血液。结果表明：与对照组相比，高精料饲粮添加槲皮素，显著提高了瘤胃液 pH（P=0.047）及异丁酸（P=0.001）和戊酸（P=0.034）浓度；显著提高了血清总抗氧化能力（P=0.031）、还原型谷胱甘肽（P=0.002）含量和尿素氮浓度（P=0.006），同时显著降低了血清钾离子浓度（P=0.042）；对瘤胃液厚壁菌门和拟杆菌门细菌数量无显著影响（P>0.10）。结果提示，高精料饲粮条件下，添加槲皮素可提高山羊瘤胃液 pH，增强机抗氧化能力，对山羊健康具有潜在的保护效应。

关键词：高精料；亚急性瘤胃酸中毒；槲皮素；抗氧化；菌群

中图分类号：S826；S816.7

在现代集约化牛养殖业中，生产者为追求较高的经济效益，常在动物饲粮中使用高比例精料。研究发现，当奶牛等反刍动物长期采食含高比例易发酵碳水化合物饲粮后，动物可能发生慢性瘤胃酸中毒[1]，导致动物上皮屏障受损，引发消化道内源性脂多糖（LPS）移位，进而引发宿主炎症[2]。最近有报道显示，慢性炎症可显著降低奶牛产奶量，降低奶牛生产效益，而采用抗炎处理则可逆转炎性反应对奶牛生产性能的不利影响[3]。此外有报道表明，高精料饲粮还可导致奶牛体内氧化与抗氧化作用失衡，使动物处于氧化应激状态，造成氧化损伤[4-5]。由此，研究可缓解高精料饲养模式引起炎症

收稿日期：2016-03-23
基金项目：国家自然科学基金项目(31372339)
作者简介：郭长征(1992-)，男，河南濮阳人，硕士研究生，从事反刍动物营养研究。E-mail: 2014105044@njau.edu.cn
*通信作者：毛胜勇，教授，博士生导师，E-mail: maoshengyong@163.com

反应及氧化应激的营养措施对于提高奶牛健康意义重大。槲皮素是一类广泛存在于植物的花、叶、果实中的多羟基黄酮类化合物[6]，具有抗氧化[7]、抗癌[8]、抗炎[9-11]和舒张血管[12-13]等作用；此外，Shu 等[14]发现，槲皮素等对变异链球菌、血链球菌、嗜酸乳杆菌和远缘链球菌等的生长具有抑制效应。因此，槲皮素可能具有潜在的改善高精料饲粮模式下瘤胃发酵、抗炎及防止氧化应激的效应。

基于饲喂高精料饲粮对动物瘤胃与机体健康的危害以及槲皮素在抗炎、抗氧化应激及影响瘤胃发酵方面的潜力，本试验研究了高精料饲粮条件下，添加槲皮素对山羊瘤胃发酵、菌群数量及血清指标的影响，以期为槲皮素在反刍动物养殖中的应用提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于 2015 年 4—5 月在南京农业大学动物房进行。槲皮素以二水化槲皮素（quercetin dihydrate）形式添加,购自 Adamas 公司，纯度≥98%。

试验选用 12 头体重[（28.4±3.0） kg]相近、安装有永久性瘤胃瘘管的健康波杂山羊(波尔山羊×长江三角洲白山羊)，单栏饲养，自由饮水。采用随机区组试验设计，将 12 只山羊随机分为对照组（不添加槲皮素）以及试验组（添加槲皮素 100 mg/kg BW），每组 6 头。试验期 42 d。基础饲粮供给量按体重 3.5%计算，饲粮精粗比 65:35，精料和粗料分开饲喂，每天饲喂 2 次（分别为 08:00 和 17:00），2 次等量饲喂。基础饲粮组成及营养水平见表 1。

表 1 基础饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 1 Composition and nutrient levels of the basal diet (air-dry basis) %

原料 Ingredients	含量 Content	营养水平 Nutrient levels2)	含量 Content
羊草 Chinese wildrye	23.00	代谢能 ME/(MJ/kg)	10.62
苜蓿 Alfalfa hay	12.00	粗脂肪 EE	2.90
玉米 Corn powder	18.00	粗纤维 CF	12.73
小麦 Wheat	32.50	粗蛋白质 CP	15.89
豆粕 Soybean meal	11.00	酸性洗涤纤维 ADF	15.79
石粉 Limestone	1.00	中性洗涤纤维 NDF	26.84
食盐 NaCl	0.50	钙 Ca	0.90
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	1.00	磷 P	0.52
预混料 Premix1)	1.00		

合计 Total	100.00	

1) 待补充

2) 净能为计算值，其余为实测值。NE was a calculated value, while the others were measured values.

1.2 样品采集

分别在试验期第 35、38、41 天晨饲后 0（08:00）、2、4 和 8 h 采集瘤胃液，经 4 层纱布过滤后，立即测定瘤胃液 pH；同时取样冻存于-20 ℃冰箱，备测瘤胃发酵相关指标。在试验期第 36、39 和 42 天晨饲后 0、6 h 通过颈静脉采集血液，常规法分离血清后，分装冻存于-20 ℃冰箱保存备用。

1.3 指标测定

瘤胃液挥发性脂肪酸（VFA）浓度的测定参照秦为琳[15]的方法，氨态氮（NH_3-N）浓度的测定参照冯宗慈等[16]的比色法。血清抗氧化指标采用试剂盒测定，试剂盒购于南京建成生物工程研究所。血清生化指标在江苏省中西医结合医院测定。

1.4 细菌总 DNA 提取及实时定量 PCR(real-time PCR)定量分析

取瘤胃液 1 mL，采用珠磨法，参照 Murray 等[17]的方法提取瘤胃细菌总 DNA。使用 ABI 7500 实时定量 PCR 仪（Applied Biosysterm）对瘤胃液中拟杆菌门和厚壁菌门细菌进行定量。分别以化脓拟杆菌（*Bacteroides pyogenus*）和厚壁菌的 16S rRNA 基因作为模板，模板菌落浓度分别为 3.29×10^9 和 7.48×10^9 CFU/μL。模板按照 10 倍梯度向下稀释，在标准曲线上使用 5 个点，每个点 3 次重复检测，制作相应细菌定量的标准曲线。实时定量 PCR 反应体系为 20 μL:10.4 μL SYBR Green Supermix（TOYOBO 公司），10 μmol/L 的上、下游引物各 0.4 μL，2 μL 样品总 DNA 以及 6.8 μL 无菌水。实时定量 PCR 引物信息见表 2，引物 Bact934F/Bact1060R 和 Firm934F/Firm1060R 分别用于定量山羊瘤胃液中拟杆菌门和厚壁菌门。PCR 反应程序为：95 ℃ 10 min，而后 95 ℃ 30s，60 ℃下退火及延伸 1 min，40 个循环。

表2 实时定量PCR引物信息

Table 2 Informations of primers for real-time PCR

目标菌 Target bacteria	引物名 Primer name	序列 Sequence (5′-3′)	参考文献 References
拟杆菌门 Bacteroidetes	Bact934F	GGARCATGTGGTTTAATTCGATGAT	Guo 等[18]
	Bact1060R	AGCTGACGACAACCATGCAG	Guo 等[18]
厚壁菌门 Firmictues	Firm934F	GGAGYATGTGGTTTAATTCGAAGCA	Guo 等[18]

	Firm1060R	AGCTGACGACAACCATGCAC	Guo 等[18]

1.5 数据处理与统计分析

试验数据经 Excel 2010 初步整理后，应用 SPSS 18.0 统计软件中 GLM 程序进行分析，*P*<0.05 为差异显著，0.05≤*P*<0.10 为具有显著趋势。

2 结果与分析

2.1 瘤胃发酵参数

由表 3 可见，与对照组相比，试验组显著升高了瘤胃液 pH（*P*=0.047）及戊酸浓度（*P*=0.034）和异丁酸（*P*=0.001）浓度，丁酸浓度有升高的趋势（*P*=0.074）。添加槲皮素未显著影响瘤胃液乙酸/丙酸及乙酸、丙酸、异戊酸、总挥发性脂肪酸及氨态氮浓度（*P*>0.10）。但不同的采样时间对瘤胃液 pH（*P*=0.024）及乙酸（*P*=0.003）、异丁酸（*P*=0.001）、丁酸（*P*=0.023）、异戊酸（*P*=0.015）、戊酸（*P*=0.016）、总挥发性脂肪酸（*P*=0.008）、乙酸/丙酸（*P*<0.001）和氨态氮浓度（*P*<0.001）有显著影响。在对瘤胃液 pH（*P*=0.001）及丙酸（*P*=0.021）、氨态氮浓度（*P*=0.004）的影响方面，采样时间与槲皮素之间存在显著的互作效应。

表 3 高精料饲粮添加槲皮素对山羊瘤胃发酵参数的影响

Table 3 Effects of quercetin supplemented in high-grain diet on rumen fermentation parameters of goats

项目 Items	槲皮素 Quercetin/（mg/kg BW）										标准误 SEM	*P* 值 *P*-value		
	0					100						时间 Time	槲皮素 Quercetin	时间×槲皮素 Time×quercetin
	0 h	2 h	4 h	8 h	平均值 Mean	0 h	2 h	4 h	8 h	平均值 Mean				
pH	6.90	6.08	6.05	6.42	6.36	7.00	6.14	6.13	6.52	6.45	0.03	0.024	0.047	0.001
乙酸 Acetate/(mmol/L)	26.12	40.57	42.35	31.46	35.12	22.16	44.64	44.05	32.75	35.90	1.28	0.003	0.669	0.391
丙酸 Propionate/(mmol/L)	5.64	12.18	13.98	9.13	10.23	4.80	13.94	14.74	9.88	10.84	0.43	0.213	0.327	0.021
异丁酸 Isobutyrate/(mmol/L)	0.71	0.59	0.63	0.55	0.62	0.83	0.72	0.71	0.56	0.71	0.02	0.001	0.001	0.341
丁酸 Butyrate/(mmol/L)	7.09	8.53	9.55	7.61	8.19	7.01	10.08	10.75	8.55	9.10	0.36	0.023	0.074	0.248
异戊酸 Isovalerate/(mmol/L)	0.98	0.72	0.83	0.76	0.82	1.15	0.83	0.87	0.72	0.89	0.03	0.015	0.131	0.624
戊酸 Valerate/(mmol/L)	0.53	1.01	0.82	0.64	0.75	0.50	1.42	0.97	0.62	0.88	0.04	0.016	0.034	0.119
总挥发性脂肪酸 TVFA/(mmol/L)	41.05	63.60	68.15	50.15	55.74	36.45	71.63	72.10	53.08	58.32	1.98	0.008	0.359	0.175
乙酸/丙酸 Acetate/propionate	4.47	3.08	2.90	3.27	3.43	4.34	3.24	3.00	3.42	3.50	0.07	<0.001	0.462	0.381
氨态氮 NH_3-N/(mmol/L)	3.50	5.54	3.67	2.47	3.80	4.10	5.23	2.22	2.80	3.59	0.15	<0.001	0.326	0.004

2.2 瘤胃液厚壁菌门与拟杆菌门细菌数量

由表 4 可见，添加槲皮素、采样时间及二者交互作用对厚壁菌门和拟杆菌门细菌数量均没有显著影响（*P*>0.10），对厚壁菌门/拟杆菌门也无显著影响（*P*>0.10）。

表 4 高精料饲粮添加槲皮素对山羊瘤胃液厚壁菌门和拟杆菌门细菌数量的影响

Table 4 Effects of quercetin supplemented in high-grain diet on bacterium counts of Firmicutes and Bacteroidetes in rumen fluid of goats

项目 Items	槲皮素 Quercetin/（mg/kg BW）		标准误	*P* 值 *P*-value		
	0	100	SEM	时间 Time	槲皮素 Quercetin	时间×槲皮素 Time×quercetin
厚壁菌门 Firmicutes/[lg(CFU/mL)]	11.46	11.52	0.108	0.391	0.722	0.611
拟杆菌门 Bacteroidetes/[lg(CFU/mL)]	11.71	11.80	0.136	0.332	0.634	0.583
厚壁菌门/拟杆菌门 Firmicutes/Bacteroidetes	0.98	0.98	0.008	0.868	0.805	0.729

2.3 血清抗氧化指标

由表 5 可见，试验组总抗氧化能力（*P*=0.031）和还原型谷胱甘肽含量（*P*=0.002）显著高于对照组，但 2 组间在丙二醛含量和超氧化物歧化酶活性上未有显著差异（*P*>0.10）。采样时间对丙二醛含量（*P*<0.001）、超氧化物歧化酶活性（*P*<0.001）和还原型谷胱甘肽含量（*P*<0.001）有显著影响。采样时间与槲皮素对上述指标无显著互作效应（*P*>0.10）。

表 5 高精料饲粮添加槲皮素对山羊血清抗氧化指标的影响

Table 5 Effects of quercetin supplemented in high-grain diet on serum antioxidant indices of goats

项目 Items	槲皮素 Quercetin/（mg/kg BW）		标准误	*P* 值 *P*-value		
	0	100	SEM	时间 Time	槲皮素 Quercetin	时间×槲皮素 Time×quercetin
丙二醛 MDA/(U/mL)	4.47	4.90	0.149	<0.001	0.149	0.445
超氧化物歧化酶 SOD/(U/mL)	52.29	49.17	1.093	<0.001	0.158	0.657
总抗氧化能力 TAOC/(U/mL)	1.59	2.31	0.164	0.267	0.031	0.294
还原型谷胱甘肽 GSH/(μmol/l)	2.49	2.87	0.060	<0.001	0.002	0.402

2.4 血清生化指标

由表 6 可见，试验组山羊血清钾离子的浓度显著低于对照组（*P*=0.042），而尿素氮浓度则显著高于对照组(*P*=0.006)。添加槲皮素对血清钠离子、氯离子、钙离子和葡萄糖浓度无显著影

响（*P*>0.10）。但采样时间对血清钠离子（*P*=0.001）、氯离子（*P*=0.000）和葡萄糖浓度（*P*=0.008）有显著影响。在对上述指标的影响上，采样时间与添加槲皮素之间无显著互作效应（*P*>0.10）。

表 6　高精料饲粮添加槲皮素对山羊血清生化指标的影响

Table 6　Effects of quercetin supplemented in high-grain diet on serum biochemical indices of goats　　mmol/L

	槲皮素 Quercetin/（mg/kg BW）			*P* 值 *P*-value		
项目 Items	0	100	标准误 SEM	时间 Time	槲皮素 Quercetin	时间×槲皮素 Time×quercetin
钾离子 K^+	4.544	4.401	0.049	0.652	0.042	0.167
钠离子 Na^+	139.835	139.144	0.503	0.001	0.335	0.144
氯离子 Cl^-	102.593	101.884	0.481	0.000	0.302	0.495
钙离子 Ca^{2+}	1.528	1.497	0.027	0.066	0.421	0.906
葡萄糖 GLU	2.684	2.780	0.052	0.008	0.190	0.893
尿素氮 UN	4.258	4.828	0.141	0.160	0.006	0.453

2.5　采食量

由表 7 可见，添加槲皮素对山羊采食量无显著影响（*P*>0.10）。

表 7　高精料饲粮添加槲皮素对山羊采食量的影响

Table 7　Effects of quercetin supplemented in high-grain diet on feed intake of goats　　g/d

	槲皮素 Quercetin/（mg/kg BW）		*P* 值
项目 Item	0	100	*P*-value
采食量 Feed intake	817.49±66.30	823.59±85.32	0.788

3　讨　论

瘤胃液 pH 是反映瘤胃代谢与影响瘤胃健康的重要指标之一，瘤胃液 pH 的高低受瘤胃液总挥发性脂肪酸浓度、唾液分泌量、瘤胃上皮对挥发性脂肪酸吸收能力及瘤胃内食糜流出等因素的综合影响[1]。本试验结果显示，添加槲皮素显著提高了瘤胃液 pH，暗示槲皮素可能具有缓解反刍动物瘤胃酸中毒的潜力。但本研究中，试验组总挥发性脂肪酸浓度与对照组并没有显著差异。作者推测，试验组瘤胃液 pH 增高可能与动物唾液分泌量增加有关，但由于本项目未检测 2 组山羊唾液分泌量，因此，有关槲皮素提高瘤胃液 pH 的作用机理尚待进一步研究。

钠离子、钾离子和氯离子是体液调节酸碱平衡和渗透压的主要离子，常被用来检测动物体水盐代谢和酸碱平衡状态[19]，血清钠离子是细胞外液最重要的阳离子，正常浓度为 135～145 mmol/L。血清钾离子是细胞内主要阳离子，研究已证实，当瘤胃液中挥发性脂肪酸浓度提高时，挥发性脂肪酸的氢根离子可弥散入细胞内，而瘤胃细胞内的钾离子则可逸出细胞外，以维持瘤胃液 pH 的相对

恒定。研究发现，动物酸中毒常伴随高血钾[20]。本试验结果显示，试验组显著降低了血清钾离子的浓度，该结果提示槲皮素可能具有促进氢离子吸收，进而维持瘤胃液 pH 稳定的能力。

血液中尿素氮是蛋白质代谢后产生的废物，血液尿素氮浓度的高低往往作为动物体内蛋白质代谢和饲粮氨基酸平衡状况较为准确的反映指标。反刍动物血液尿素氮来源于瘤胃壁吸收的氨态氮和机体组织蛋白质分解，与瘤胃内氨态氮浓度相关。本试验结果显示，添加槲皮素显著升高了血清尿素氮浓度，说明槲皮素可能具有影响山羊体内氮代谢的作用。

异位酸是异丁酸、2-甲基丁酸、异戊酸和戊酸的总称，瘤胃内浓度的升高具有提高奶牛产奶量的作用[21]。本试验发现，槲皮素可显著提高瘤胃液异丁酸和戊酸的浓度。而 Cui 等[22]研究证明，槲皮素可显著提高奶牛产奶量。因此，槲皮素提高奶牛产奶量可能与其提高异位酸浓度的作用有关。

离体与动物试验均表明，槲皮素具有抗氧化作用[23-27]。本试验发现，试验组显著提高了血清总抗氧化能力、还原型谷胱甘肽的含量，该结果说明槲皮素具有缓解饲喂高精料饲粮对动物的氧化应激。此外，虽体外试验发现，槲皮素具有抑制变异链球菌、血链球菌、嗜酸乳杆菌和远缘链球菌等微生物生长的作用，但本试验发现，添加槲皮素并未显著影响瘤胃菌群中的主要 2 类菌群的数量，说明槲皮素可能不具有影响瘤胃微生物的作用效果。

4 结 论

高精料饲粮条件下，添加槲皮素可提高山羊瘤胃液pH，增强机抗氧化能力，对山羊健康具有潜在的保护效应。

参考文献：

[1] 冯仰廉.反刍动物营养学[M].北京：科学出版社,2004.

[2] 张耿,毛胜勇,朱伟云.反刍动物瘤胃酸中毒发病机制及其研究进展[J].畜牧与兽医,2005,37(12):51–54.

[3] HUZZEY J M,MANN S,NYDAM D V,et al.Associations of peripartum markers of stress and inflammation with milk yield and reproductive performance in Holstein dairy cows[J].Preventive Veterinary Medicine,2015,120(3/4):291–297.

[4] GABAI G,TESTONI S,PICCININI R,et al.Oxidative stress in primiparous cows in relation to dietary starch and the progress of lactation[J].Animal Science,2004,79(1):99–108.

[5] 侯志高.不同精粗比日粮对奶牛机体氧化应激和瘤胃内环境稳定性的影响[J].畜牧兽医学

报,2008,39(4):455–459.

[6] KÜHNAU J.The flavonoids.A class of semi-essential food components:their role in human nutrition[J].World Review of Nutrition and Dietetics,1976,24:117-191.

[7] BAGHEL S S,SHRIVASTAVA N,BAGHEL R S,et al.A review of quercetin:antioxidant and anticancer properties[J].World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences,2012,1(1):146–160.

[8] HERTOG M G L,HOLLMAN P C H,KATAN M B.Content of potentially anticarcinogenic flavonoids of 28 vegetables and 9 fruits commonly consumed in the Netherlands[J].Journal of Agricultural and Food Chemistry,1992,40(12):2379–2383.

[9] MIDDLETON E Jr,KANDASWAMI C,THEOHARIDES T C.The effects of plant flavonoids on mammalian cells:implications for inflammation,heart disease,and cancer[J].Pharmacological Reviews,2000,52(4):673–751.

[10] GUARDIA T,ROTELLI A E,JUAREZ A O,et al.Anti-inflammatory properties of plant flavonoids.Effects of rutin,quercetin and hesperidin on adjuvant arthritis in rat[J].Il Farmaco,2001,56(9):683–687.

[11] BOESCH-SAADATMANDI C,WAGNER A E,WOLFFRAM S,et al.Effect of quercetin on inflammatory gene expression in mice liver *in vivo*–role of redox factor 1,miRNA-122 and miRNA-125b[J].Pharmacological Research,2012,65(5):523–530.

[12] PÉREZ-VIZCAÍNO F,IBARRA M,COGOLLUDO A L,et al.Endothelium-independent vasodilator effects of the flavonoid quercetin and its methylated metabolites in rat conductance and resistance arteries[J].Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics,2002,302(1):66–72.

[13] DUARTE J,PÉREZ-VIZCAÍNO F,ZARZUELO A,et al.Vasodilator effects of quercetin in isolated rat vascular smooth muscle[J].European Journal of Pharmacology,1993,239(1/2/3):1–7.

[14] SHU Y,LIU Y,LI L,et al.Antibacterial activity of quercetin on oral infectious pathogens[J].African Journal of Microbiology Research,2011,5(30):5358–5361.

[15] 秦为琳.应用气相色谱测定瘤胃挥发性脂肪酸方法的研究改进[J].南京农学院学报,1982(4):110–116.

[16] 冯宗慈,高民.通过比色测定瘤胃液氨氮含量方法的改进[J].内蒙古畜牧科学,1993(4):40–41.

[17] MURRAY A E,PRESTON C M,MASSANA R,et al.Seasonal and spatial variability of bacterial and archaeal assemblages in the coastal waters near Anvers Island,Antarctica[J].Applied and Environmental Microbiology,1998,64(7):2585–2595.

[18] GUO X,XIA X,TANG R,et al.Development of a real-time PCR method for *Firmicutes* and *Bacteroidetes* in faeces and its application to quantify intestinal population of obese and lean pigs[J].Letters in Applied Microbiology,2008,47(5):367–373.

[19] 常影.阉牛亚急性瘤胃酸中毒发病机理和饲喂高油玉米籽粒缓解效果的研究[D].博士学位论文.北京:中国农业大学,2006.

[20] 胡红莲.奶山羊亚急性瘤胃酸中毒营养生理机制的研究[D].博士学位论文.呼和浩特:内蒙古农业大学,2008.

[21] ANDRIES J I,BUYSSE F X,DE BRABANDER D L,et al.Isoacids in ruminant nutrition:their role in ruminal and intermediary metabolism and possible influences on performances—a review[J].Animal Feed Science and Technology,1987,18(3):169–180.

[22] CUI K,GUO X D,TU Y,et al.Effect of dietary supplementation of rutin on lactation performance,ruminal fermentation and metabolism in dairy cows[J].Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition,2015,99(6):1065–1073.

[23] TERAO J,PISKULA M,YAO Q.Protective effect of epicatechin,epicatechin gallate,and quercetin on lipid peroxidation in phospholipid bilayers[J].Archives of Biochemistry and Biophysics,1994,308(1):278–284.

[24] KANEKO T,BABA N.Protective effect of flavonoids on endothelial cells against linoleic acid hydroperoxide-induced toxicity[J].Bioscience,Biotechnology,and Biochemistry,1999,63(2):323–328.

[25] 苏俊锋,郭长江,韦京豫,等.槲皮素体内外抗氧化作用和比较研究[J].中国应用生理学杂志,2002,18(4):382–386.

[26] INAL M E,KAHRAMAN A.The protective effect of flavonol quercetin against ultraviolet a induced oxidative stress in rats[J].Toxicology,2000,154(1/2/3):21–29.

[27] WU T H,YEN F L,LIN L T,et al.Preparation,physicochemical characterization,and antioxidant effects of quercetin nanoparticles[J].International Journal of Pharmaceutics,2008,346(1/2):160–168.

Effects of Quercetin Supplemented in High-Concentrate Diet on Rumen Fermentation, Rumen Bacteria Counts and Serum Indices of Goats

GUO Changzheng FENG Panfei XUE Chunxu YE Huimin LIU Junhua MAO Shengyong*

（*College of Animal Science, Nanjing Agricultural university, Nanjing* 210095, *China*）

Abstract: The objective of this study was to investigate the effects of quercetin supplemented in high-concentrate diet on rumen fermentation, rumen bacteria counts and serum indices of goats. Twelve goats were randomly allocated to two groups with six goats per group and fed a hige-concentrate diet supplemented without or with quercetin (100 mg/kg BW). The experiment lasted for 42 d. Rumen fluid sample was collected at 0 (08:00)， 2, 4, 8 h after morning feeding at the 35th, 38th and 41st day. Vein blood sample was collected on the 36th, 39th and 42th day at 0 and 6 h after morning feeding. The results showed as follows: compared with the control group, the supplementation of quercetin in high-concentrate diet significantly increased pH （P=0.047）, and isobutyrate （P=0.001） and valerate concentrations （P=0.034） in rumen fluid; significantly increased serum total antioxidant capacity （P=0.031）, glutathione content （P=0.002） and urea nitrogen concentration （P=0.006）, while significantly decreased serum kalium ion concentration （P=0.042）. Collectively, these results indicate that under the condition of high-concentrate diet, quercetin supplementation can improve rumen fluid pH, enhance antioxidant capacity, and may has a positive effect on health of the goats.

Key words: high-concentrate diet; subacute ruminal acidosis; quercetin; antioxidant; bacterial flora

---

*Corresponding author, professor, E-mail: maoshengyong@163.com （责任编辑 王智航）